

Procédé de pré-détection de réponses dans un radar secondaire et application à la détection de réponses mode S

La présente invention s'applique à la surveillance du trafic aérien notamment civil, et plus particulièrement, aux systèmes coopératifs sol avion qui permettent de situer en distance radiale et en azimuth les avions présents dans un certain volume et de les interroger.

5 Ces systèmes coopératifs comportent un radar de surveillance dit secondaire et des transpondeurs embarqués à bord d'avions. Le radar secondaire coopère selon un protocole déterminé avec des transpondeurs (appelés encore répondeurs) embarqués à bord d'avions. Le radar secondaire comporte un interrogateur qui émet des impulsions
10 d'interrogation modulées en amplitude et en phase à la fréquence de 1030 MHz pour établir une communication avec les transpondeurs présents dans le lobe d'émission de son antenne. Les transpondeurs présents dans le lobe d'antenne répondent par des trains d'impulsions modulées en amplitude à la fréquence de 1090 MHz. Ces impulsions sont reçues et traitées par un
15 récepteur du radar secondaire.

Les radars secondaires sont utilisés à la fois dans des applications civiles et militaires, en tant que radar de surveillance (connus sous le nom de "Secondary Surveillance Radar" ou SSR dans la littérature anglo-saxonne) ou radar anti-collision (radar embarqué). La Convention sur l'Aviation Civile
20 Internationale, appelée encore norme OACI (Organisation de l'Aviation Civile Internationale) définit un protocole de communication pour les radars secondaires dans son annexe 10 (Télécommunications Aéronautiques), volume IV (Radar de surveillance et systèmes anti-collision). La norme OACI définit plusieurs modes d'interrogation, tel que les modes A, C et S. Le mode
25 S se distingue des modes A et C en ce qu'il permet une interrogation sélective des avions par l'emploi d'un numéro d'identification propre à chaque avion. Toutefois, les interrogations et les réponses du mode S sont longues par rapport aux interrogations et aux réponses en mode A ou C.

Une réponse mode S est formée par un train d'impulsions
30 comportant un préambule et un message. Le préambule comporte quatre impulsions d'une durée de 0,5 μ s chacune. Les deux premières et les deux

dernières impulsions sont séparées entre elles de 0,5 μ s. La première et la troisième impulsion sont séparées entre elles de 3,5 μ s.

Les réponses aux interrogations sélectives (mode S) sont de nature à induire de nombreuses fausses détections de réponses secondaires (mode A ou C). Les fausses détections sont aussi appelées des détections de réponses fantômes, c'est à dire d'un signal ayant la forme d'une réponse, mais ne correspondant à aucune réponse réelle. Ainsi, le message d'une réponse mode S peut contenir des séquences d'impulsions ayant la forme d'une réponse secondaire (mode A ou C). De plus, lorsque les signaux sont déformés par des multitrajets, les réponses mode S peuvent induire de nombreuses fausses détections de réponses secondaires. Les fausses détections augmentent la charge de traitement du radar secondaire. Elles peuvent même créer une surcharge conduisant à des non-détection de réponses correctes.

Lors de l'apparition des interrogations sélectives dans la norme OACI, la nécessité de filtrer les réponses mode S s'est fait sentir, pour permettre de détecter les réponses secondaires avec un minimum de fausses détections. La demande de brevet FR 2 692 995 déposée le 30 juin 1992 décrit un procédé de filtrage de réponses mode S permettant de conserver les réponses secondaires reçues pendant le temps des réponses mode S filtrées. Ce procédé est basé sur l'élimination sélective des impulsions appartenant à une réponse mode S.

Quoiqu'il en soit, ce procédé, ainsi que les autres procédés de filtrages des réponses mode S, réalisent une détection préalable des réponses mode S. La détection préalable est effectuée sur la présence des quatre impulsions du préambule.

Les procédés de filtrage utilisant les impulsions du préambule ne sont plus efficaces lorsque des impulsions du préambule sont abîmées ou absentes. Or une telle situation est courante en cas de chevauchement temporel de réponses au niveau du récepteur, connu aussi sous le nom de garbling. En effet, il peut arriver que le préambule d'une réponse mode S soit mélangé à une autre réponse secondaire ou mode S, rendant ce préambule non identifiable.

L'invention vise à résoudre ces problèmes, et notamment à dire à établir une détection de réponses mode S, cette détection étant efficace

même en présence de garbling et de multitrajets. A cet effet, l'invention a notamment pour objet un procédé dans lequel on traite les signaux reçus avant de décoder les réponses ou de rechercher la présence d'éventuelles impulsions du préambule.

5 A cet effet, on réalise un premier étage de détection des réponses mode S, mettant en œuvre le procédé selon l'invention, dans lequel le seuil de détection est abaissé par rapport aux techniques de détections conventionnelles. Ce premier étage de détection permet de détecter les réponses abîmées, c'est à dire qui ne sont pas identifiables par leurs
10 impulsions de préambule. On obtient à la sortie de ce premier étage de détection des pré-détections de réponses mode S. Dans le cadre de la présente demande, on entend par "pré-détection d'une réponse" la reconnaissance de la présence d'une réponse dans un signal. Une détection se distingue d'une pré-détection en ce que la position de la réponse est
15 connue de manière précise dans une détection. Ainsi, une détection d'une réponse mode S permet de déterminer la position d'un avion, alors qu'une simple pré-détection ne le permet pas.

Lorsqu'on cherche à traiter les réponses mode S elles-mêmes, on peut utiliser un second étage de détection, ayant pour fonction de confirmer
20 certaines pré-détections issues du premier étage de détection. En d'autres termes, on utilise les pré-détections pour réaliser des détections. En utilisant un second étage de détection, on élève le seuil de détection, de manière à éliminer les réponses dont les messages sont trop abîmés pour être décodés.

25 En distinguant ainsi deux étages de détection, on peut utiliser des critères de détection différents, l'un adapté au filtrage des réponses mode S pour le traitement des réponses secondaires, l'autre adapté au traitement des réponses modes S elles-mêmes.

Ainsi, l'invention a notamment pour objet un procédé de pré-
30 détection de réponses dans un radar secondaire, les réponses à pré-détecter comprenant un message codé par un signal modulé, caractérisé en ce que :

- (i) on identifie la présence d'un signal présentant des caractéristiques de modulation conformes à celles d'un message d'une réponse à pré-détecter ;
- 35 (ii) on mesure la durée du signal identifié ;

- (iii) on compare la durée du signal identifié à une durée minimale, la durée minimale étant déterminée à partir d'une durée attendue des messages des réponses à pré-détection.

Les réponses dont la durée est supérieure à la durée minimale
5 forment ainsi des pré-détections selon l'invention.

Selon un mode de réalisation avantageux, on utilise deux voies, ce qui apporte un net gain d'efficacité. Par exemple on peut utiliser la voie somme et la voie différence. La voie somme dont le gain est sensiblement constant dans le lobe principal permet de discriminer des réponses de
10 puissances différentes. La voie différence dont le gain varie fortement avec l'azimut permet de discriminer des réponses de puissances similaires (cas du garbling synchrone ou des fruits) présentant un écart en azimut.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description détaillée suivante présentée à titre d'illustration
15 non limitative et faite en référence aux figures annexées, lesquelles représentent :

- la figure 1, un exemple d'utilisation de radars secondaires ;
- les figures 2a et 2b, des exemples d'interrogations selon la norme OACI ;
- la figure 3, un exemple de réponse mode S selon la norme OACI ;
- 20 - la figure 4, un synoptique d'un exemple de radar secondaire mettant en œuvre le procédé selon l'invention ;
- les figures 5a, 5b et 5c, respectivement un exemple de signal log vidéo analogique reçu en présence d'une impulsion, ce signal numérisé, et le résultat de la détection de cette impulsion par seuillage ;
- 25 - la figure 6, un exemple de dispositif pour générer un créneau ;
- la figure 7, un exemple de mise en œuvre de l'invention pour la pré-détection d'une réponse mode S ;
- la figure 8, un exemple de mise en œuvre de l'invention appliqué à la détection d'une réponse mode S dont le préambule est brouillé ;
- 30 - la figure 9, une alternative de mise en œuvre par rapport à l'exemple de la figure 8.

On se réfère maintenant à la figure 1 sur laquelle est représenté un exemple d'utilisation de radars secondaires. Les radars secondaires
35 peuvent équiper des stations au sol 12, 13. Ils comprennent généralement

une antenne directionnelle 12a, 13a. Chaque antenne directionnelle 12a, 13a est utilisée pour émettre une interrogation en direction de cibles. La cible 11 qui reçoit une interrogation répond selon un protocole déterminé par l'intermédiaire d'un transpondeur embarqué (non représenté). Chaque
5 antenne directionnelle 12a, 13a est généralement associée à une antenne omnidirectionnelle 12b, 13b. L'antenne omnidirectionnelle est utilisée pour émettre des impulsions (une ou deux généralement) permettant d'inhiber les réponses des transpondeurs situés dans des lobes d'émission secondaires de l'antenne directionnelle 12a, 13a.

10 Les cibles 10, 11 peuvent en outre communiquer entre elles selon le même protocole. Les cibles comprennent alors non seulement un transpondeur, mais aussi un radar secondaire (interroateur).

On se réfère maintenant à la figure 2a sur laquelle est représenté un exemple d'interrogation 20 selon la norme OACI. L'homme du métier
15 trouvera plus de précisions dans le document relatif à la norme elle-même.

La fréquence porteuse d'une interrogation est de 1030 MHz, plus ou moins 0,2 MHz. Une interrogation comprend deux impulsions désignées par P_1 et P_3 . L'intervalle entre P_1 et P_3 détermine le mode d'interrogation. Un intervalle de 8,0 μ s (plus ou moins 0,2 μ s) correspond à une interrogation
20 dite "mode A". Un intervalle de 21,0 μ s (plus ou moins 0,2 μ s) correspond à une interrogation dite "mode C". La durée des impulsions P_1 , P_3 est de 0,8 μ s plus ou moins 0,1 μ s.

Une interrogation multimode comprend en outre une troisième impulsion, P_4 . L'intervalle entre la deuxième impulsion P_3 et la troisième
25 impulsion P_4 est de 2,0 μ s (plus ou moins 0,05 μ s). La durée de la troisième impulsion détermine le mode d'interrogation. Une impulsion courte (0,8 μ s plus ou moins 0,1 μ s) correspond à une interrogation dite "mode A/C-only all-call". Une impulsion longue (1,6 μ s plus ou moins 0,1 μ s) correspond à une impulsion dite "mode A/C/S all-call".

30 L'homme du métier trouvera dans le document relatif à la norme OACI les réponses correspondant à ces différentes interrogations.

On se réfère maintenant à la figure 2b sur laquelle est représenté un autre exemple d'interrogation 21 selon la norme OACI.

Une interrogation dite "mode S" comprend trois impulsions P_1 , P_2 ,
35 P_6 . La durée des impulsions P_1 et P_2 est de 0,8 μ s plus ou moins 0,1 μ s. La

durée de l'impulsion P_6 détermine le mode d'interrogation. Une durée de $16,25 \mu s$ plus ou moins $0,25 \mu s$ correspond à une interrogation dite "short mode S" (SMS). Une durée de $30,25 \mu s$ plus ou moins $0,25 \mu s$ correspond à une interrogation dite "long mode S" (LMS). L'intervalle entre P_1 et P_2 est de
5 $2,0 \mu s$ plus ou moins $0,05 \mu s$. L'impulsion P_6 comprend une première inversion de phase 22. L'intervalle entre P_2 et l'inversion de phase 22 est de $2,75 \mu s$ plus ou moins $0,05 \mu s$. L'impulsion P_6 débute $1,25 \mu s$ plus ou moins $0,05 \mu s$ avant l'inversion de phase 22. L'impulsion P_6 comprend des inversions de phase permettant de coder des bits de données 23 à 24. Une
10 interrogation SMS comprend 56 bits, une interrogation LMS comprend 112 bits. Des informations supplémentaires concernant ce type d'interrogation peuvent être trouvées dans la norme OACI.

On se réfère maintenant à la figure 3 sur laquelle est représenté un exemple de réponse mode S selon la norme OACI. La réponse
15 comprend un préambule 31 comprenant quatre impulsions 31a, 31b, 31c, 31d et un message 32. Le message 32 comprend 56 ou 112 bits (en réponse respectivement à une interrogation SMS et LMS). Les bits du message sont codés par un signal modulé en position. Chaque période de $1 \mu s$ correspond à un bit de message. En d'autres termes, la période de modulation du signal
20 est de 1 MHz. La valeur du bit est codée par la position d'une impulsion de $0,5 \mu s$ dans la période de $1 \mu s$. Lorsque l'impulsion est au début de la durée (voir par exemple les bits n°3, N sur la figure), le bit vaut 1. Lorsque l'impulsion est à la fin de la durée (voir par exemple les bits n° 1, 2, 4, N-1 sur la figure), le bit vaut 0.

25 On se réfère maintenant à la figure 4 sur laquelle est représenté un exemple de radar secondaire mettant en œuvre le procédé selon l'invention. Le radar 40 comprend une antenne 41 apte à recevoir un signal hyperfréquence. Cette antenne 41 est reliée à un récepteur permettant de transposer le signal hyperfréquence en signal vidéo. Le signal vidéo est du
30 type de celui représenté sur la figure 3. Toutefois, ce signal peut être brouillé lors de la réception.

Le signal en sortie du récepteur peut être séparé en deux voies par exemple, une voie somme 43a, 44a, 45a, 46a et une voie différence 43b, 44b, 45b, 46b. Ces voies sont obtenues en effectuant des combinaisons
35 différentes (en gain et en phase) des signaux issus des éléments rayonnant

de l'antenne de réception 41 (antenne à réseau). Chaque combinaison correspond à un diagramme d'antenne différent. Bien entendu, le nombre de voies peut être égal à un ou supérieur à deux. Les traitements sur chaque voie sont similaires et sont réalisés en parallèle.

5 On se réfère maintenant aux figures 5a et 5b, sur lesquelles sont représentés respectivement un exemple de signal log vidéo analogique 50 reçu en présence d'une impulsion, et signal numérisé 51. Le signal log vidéo analogique 50 est le signal en sortie du récepteur 42. Il est numérisé sur chaque voie par un convertisseur analogique-numérique 43a, 43b (voir figure
10 4) pour donner le signal numérisé 51. Avantageusement, on choisit une fréquence d'échantillonnage de l'ordre de 20 MHz, ce qui permet une analyse précise du signal, tout en obtenant un bon compromis coût/efficacité.

On se réfère maintenant à la figure 5c. Sur chaque voie, le signal numérisé 51 est ensuite converti en un signal de détection d'impulsion, référencé Q. Le signal Q est généré par un détecteur d'impulsion 44a, 44b
15 (voir figure 4) effectuant seuillage adaptatif, c'est à dire par rapport à un niveau déterminé en fonction d'un niveau crête. Ce seuil peut être par exemple un seuil à mi-hauteur en tension, c'est à dire -6 dB en vidéo log. Pendant la durée d'une impulsion, le détecteur d'impulsion 44a, 44b génère
20 un signal stable 52 à un niveau prédéterminé. On s'affranchit ainsi des fluctuations de niveaux d'une impulsion à l'autre.

On se réfère maintenant à la figure 6 sur laquelle est représenté un exemple de dispositif pour générer un créneau de pré-détection. Sur chaque voie, le détecteur d'impulsion 44 (c'est à dire 44a ou 44b) est relié à
25 un monostable numérique 60. Le monostable 60 peut être déclenché sur les fronts montants ou descendants. Il permet de générer un signal stable pendant une durée déterminée.

Avantageusement, le monostable est déclenché sur les fronts descendants, et la durée est de l'ordre d'une période de modulation, c'est à
30 dire 1 μ s pour une réponse mode S selon la norme OACI. La durée du signal stable est avantageusement supérieure à une période de modulation, par exemple de 20%, pour accepter une certaine tolérance. Ainsi, dans cet exemple, la durée pendant laquelle le signal stable est généré est sensiblement égale à 1,2 μ s.

La sortie du monostable 60 peut être reliée à la sortie du détecteur d'impulsion 44 par l'intermédiaire d'une porte OU 61. Ceci permet, lorsque le monostable est déclenché sur les fronts descendants, d'obtenir le début de l'impulsion en sortie du générateur de créneaux.

On se réfère maintenant à la figure 7 sur laquelle est représenté un exemple de mise en œuvre de l'invention pour la pré-détection d'une réponse mode S. Le radar secondaire reçoit un signal, référencé Q1 en sortie du détecteur d'impulsion, correspondant à une réponse mode S. Cette réponse est référencée R1 avant sa transposition en hyperfréquence. On suppose dans cet exemple que le signal n'est pas brouillé. Le signal reçu Q1 est donc similaire à la réponse émise R1.

La réponse mode S comprend un préambule R1a et un message R1b. Le préambule R1a comprend quatre impulsions 70, 71, 72, 73. Le message R1b comprend 56 ou 112 bits codés en position. Dans la réponse illustrée figure 7, les premiers bits du message sont 0, 1, 1, 0, 0, 1 et les derniers bits sont 0, 1, 0, 1, 1, 1.

Afin de pré-détecter une réponse, on cherche à détecter l'enveloppe du signal. En d'autres termes, on identifie la présence d'un signal présentant des caractéristiques de modulation conformes à celles d'un message d'une réponse mode S. Les messages des réponses mode S étant codés par un signal modulé en position, on identifie la présence d'un signal lorsqu'on est en présence d'une séquence d'impulsions dans laquelle chaque impulsion de la séquence est séparée de celle qui précède par au maximum une durée de l'ordre d'une période de modulation. On génère à cet effet le créneau de pré-détection.

En sortie du dispositif permettant de générer le créneau de pré-détection, on observe le signal référencé E1. Les impulsions du préambule R1a donnent deux créneaux 74, 75. Le premier créneau 74 correspond aux deux premières impulsions 70, 71 du préambule R1a. Le second créneau 75 correspond aux deux impulsions suivantes 72, 73 du préambule R1a. Les deux créneaux 74 et 75 ont une durée de l'ordre de deux périodes de modulations, c'est à dire 2 μ s.

Le message lui-même R1b donne un unique créneau 76 dont la durée est sensiblement égale à celle du message. En effet, les impulsions du message sont séparées d'au plus une période de modulation (même lors

d'une succession de bits 1 puis 0). Par conséquent, le créneau 76 a une durée de l'ordre de 56 μ s ou de 112 μ s selon que la réponse mode S est une réponse SMS ou LMS.

On mesure la durée du signal identifié, c'est à dire dans cet
5 exemple des créneaux générés. Puis on compare cette durée mesurée à une durée minimale déterminée. Cette durée minimale est fonction de la durée attendue des messages des réponses à pré-détecter. La durée minimale est déterminée de sorte à être inférieure ou égale à la durée du signal identifié de toute réponse à pré-détecter. Si la durée du signal identifié est supérieure
10 à la durée minimale, on pré-détecte une réponse.

Ainsi, la durée des créneaux 74 et 75 étant largement inférieure à la durée d'un message, il n'y a aucune pré-détection. Par contre, la durée du créneau 76 étant celle d'une réponse, on pré-détecte 77 une réponse.

Lorsqu'on cherche à détecter des réponses mode S, on connaît à
15 priori la durée de la réponse attendue (56 μ s ou 112 μ s). Selon l'invention, si on connaît a priori la nature de la réponse (SMS ou LMS), on détermine la durée minimale à partir de la durée du message de la réponse correspondante (56 μ s ou 112 μ s). Si on ne connaît pas a priori la nature de la réponse, on détermine la durée minimale à partir de la durée du message
20 de la réponse la plus courte (c'est à dire 56 μ s pour une réponse SMS).

La durée du créneau varie en fonction de la valeur du premier et du dernier bit de message. Si le premier bit de message est remplacé par un 1 (au lieu du 0 dans l'exemple illustré), le créneau 76 commence une demi période de modulation plus tôt, ce qui allonge d'autant le créneau 76. Si le
25 dernier bit de message est remplacé par un 0 (au lieu du 1 dans l'exemple illustré), le créneau 76 termine une demi période de modulation plus tard, ce qui allonge d'autant le créneau 76. Par conséquent, la durée du signal identifié varie d'une période de modulation (1 μ s) selon les valeurs en début et fin de message.

30 Selon l'invention, pour tenir compte de cette fluctuation, la durée minimale est déterminée à partir de la durée d'un créneau généré à partir d'un message de réponse mode S commençant par un 0 et se terminant par un 1. Les réponses commençant par d'autres valeurs ou se terminant par d'autres valeurs généreront des créneaux de durée supérieure.

10

Avantageusement, cette durée minimale peut être proportionnelle à la durée d'un créneau généré par une réponse mode S dont le message commence par un 0 et se termine par un 1. Le coefficient de proportionnalité permettant de définir la durée minimale à partir de la durée du créneau est
5 strictement inférieur à 1 pour accepter une certaine tolérance, ou égal à 1 sinon.

Par exemple lorsque les créneaux sont générés à partir du front descendant des impulsions, la durée minimale peut être 54 μ s (voir l'illustration figure 7).

10 L'invention permet ainsi de pré-détecter des réponses mode S sans utiliser la position des impulsions du préambule. Ceci permet de pré-détecter des réponses mode S ayant des préambules brouillés.

Selon un mode de réalisation avantageux, lorsque la longueur de
15 la réponse est connue, on peut déduire la position du préambule soit à partir de la fin du message, soit à partir du début du message. Ceci permet de détecter des réponses.

On se réfère maintenant à la figure 8 sur laquelle est présenté un exemple de mise en œuvre de l'invention appliqué à la détection d'une
20 réponse mode S dont le préambule est brouillé.

Une première réponse mode S, référencée R1, est émise par un premier transpondeur. Une seconde réponse mode S, référencée R2, est émise par un second transpondeur. Les distances respectives des transpondeurs par rapport au radar secondaire et les moments d'émission
25 des deux réponses font que les réponses R1, R2 arrivent mélangées au niveau du radar secondaire. Plus précisément, le préambule R2a de la seconde réponse est mélangé au message R1b de la première réponse. On référence par Q2 le signal reçu par le radar secondaire en sortie du détecteur d'impulsion.

30 Le signal Q2 comprend des impulsions claires 81, 82, 83, 84 qui correspondent au préambule R1a de la première réponse R1. Ces quatre premières impulsions sont suivies d'autres impulsions, dont certaines 85 sont brouillées, qui se répartissent en trois périodes temporelles R1c, GRB, R2c. Le signal Q2 pendant la première période R1c correspond au début du
35 message R1b de la première réponse. La suite du signal Q2, pendant la

seconde période GRB, correspond au mélange de la suite du message R1b de la première impulsion avec le préambule R2a et le début du message R2b de la seconde impulsion. La fin du signal Q2, pendant la troisième période R2c, correspond à la fin du message R2b de la seconde réponse.

5 En sortie du dispositif permettant de générer le créneau de pré-détection, on observe le signal référencé E2. Les impulsions du préambule R1a donnent deux créneaux 86, 87 d'une durée de l'ordre de deux périodes de modulations ($2 \mu s$). Les impulsions suivantes donnent un créneau qui commence à la première impulsion du message R1b de la première réponse, et s'arrête à la dernière impulsion du message R2b de la seconde réponse. 10 La durée du créneau permet donc de pré-détecter au moins une réponse.

Lorsque la durée du créneau est supérieure à la durée minimale déterminée (pré-détection), on détermine la position de la fin du message de la dernière réponse. Cette position correspond à la fin du créneau. On peut 15 alors en déduire la position du préambule de la dernière réponse.

De même, on détermine la position du début du message de la première réponse. Cette position correspond au début du créneau. On peut alors en déduire la position du préambule de la première réponse.

Il est ainsi possible de déterminer la position des préambules de 20 deux réponses en cas de mélange de réponses, ces positions étant déterminées sans analyser les impulsions présumées être de préambule.

Lorsque la position du préambule est connue, on peut effectuer une détection à partir du préambule. Par exemple, on peut utiliser des lignes à retard pour superposer les quatre impulsions du préambule de la dernière 25 (seconde) réponse. Ce préambule étant brouillé, on peut ne rechercher la présence de 1, 2 ou 3 impulsions sur les quatre. En d'autres termes, on génère une détection lorsque au moins N impulsions sur quatre sont présentes à la position prévue T1 du préambule, où N est un paramètre dont la valeur est comprise entre 1 et 4, la valeur limite 1 étant utilisée pour 30 détecter des réponses très brouillées, la valeur limite 4 étant utilisée pour détecter des réponses claires.

Avantageusement, en cas de mélange de réponses, on ne cherche à détecter le préambule que de la première réponse mode S, c'est à dire le préambule clair. La dernière réponse peut être détectée par la fin du 35 message et son contenu message comme décrit en relation avec la figure 9.

La réponse R2 et le signal Q2 y sont représentés. Selon cette variante avantageuse, on analyse les impulsions présentes dans la zone où une réponse a été identifiée (R2a, GRB, R2c) à la recherche d'une transition 0 – 1 ou 1 – 0, c'est à dire d'une impulsion de 1 μ s ou d'un trou de 1 μ s.

5 Dès la première impulsion ou trou, on génère 90 un signal d'horloge CLK au pas de 1 μ s. On relance 91, 92, 93, 94 l'horloge à chaque impulsion ou trou de 1 μ s. Ceci permet de synchroniser l'horloge sur la fin, supposée claire, du dernier message. On lève ainsi l'incertitude de 0,5 μ s, car à chaque impulsion d'horloge, on sait qu'on est au milieu de l'intervalle de
10 1 μ s d'un bit de message. Le signal d'horloge 95 se situant juste après la retombée du créneau de pré-détection permet de trouver la position précise de la fin du message de la dernière réponse. On en déduit alors la position précise de la première impulsion du préambule de la dernière réponse.

Grâce à cette technique, on peut effectuer des détections, c'est à
15 dire estimer la position précise d'une réponse (on lève l'ambiguïté de 0,5 μ s).

Ainsi, on détecte le début (préambule) de la dernière réponse mode S sans décoder le message. On peut procéder de façon analogue pour détecter le début (préambule) de la première réponse mode S.

On peut réaliser ainsi la détection 96, 97 de réponses mode S
20 sans utiliser les impulsions de leurs préambules.

On a ainsi décrit deux modes de détection possibles :

- à partir du préambule, dont on détermine au préalable la position (figure 8) ou,
- 25 - à partir du message lui-même, lequel est utilisé pour générer un signal d'horloge à un rythme binaire, pour déterminer précisément la position du début de la réponse à partir du début ou de la fin du message (figure 9).

Ces deux modes de détections peuvent être mis en œuvre en parallèle. Si on a détecté une réponse par ces deux modes (cas d'une
30 réponse claire ou dont seulement une partie du message est brouillé par exemple), on utilise préférentiellement le mode de détection à partir du préambule.

REVENDICATIONS

1. Procédé de pré-détection de réponses dans un radar secondaire, les réponses à pré-détecter comprenant un message codé par un signal modulé, caractérisé en ce que :
 - (i) on identifie la présence d'un signal présentant des caractéristiques de modulation conformes à celles d'un message d'une réponse à pré-détecter ;
 - (ii) on mesure la durée du signal identifié ;
 - (iii) on compare la durée du signal identifié à une durée minimale, la durée minimale étant déterminée à partir d'une durée attendue des messages des réponses à pré-détecter.
2. Procédé selon la revendication 1 dans lequel les messages étant codés par un signal modulé en position, on identifie la présence d'un signal lorsqu'on est en présence d'une séquence d'impulsions dans laquelle chaque impulsion de la séquence est séparée de celle qui précède par au maximum une durée de l'ordre d'une période de modulation.
3. Procédé selon la revendication 2 dans lequel, on identifie la présence d'un signal en générant un créneau dont la durée est sensiblement égale à la durée séparant la première de la dernière impulsion de la séquence d'impulsions, à une période de modulation près.
4. Procédé selon la revendication 3 dans lequel pour générer un créneau, on détecte des impulsions, et on génère un signal stable à partir de la détection pendant une durée égale au temps maximum jusqu'à la prochaine détection d'une impulsion de message.
5. Procédé selon la revendication 4 dans lequel la durée du signal stable généré à partir d'un front descendant est sensiblement égale à la durée d'une période de modulation majorée de 20%.
6. Procédé selon la revendication 4 ou 5 dans lequel on détecte les impulsions par seuillage par rapport un niveau déterminé en fonction d'un niveau crête.

7. Procédé selon l'une quelconque des revendications 3 à 6 dans lequel on mesure la durée du signal identifié en mesurant la durée du créneau.
- 5 8. Procédé selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel les réponses à pré-détecter étant des réponses mode S, la durée minimale des messages est de l'ordre de 56 microsecondes pour les réponses courtes ou de l'ordre de 112 microsecondes pour les réponses longues.
- 10 9. Procédé de détection de réponses dans un radar secondaire, les réponses à détecter comprenant un préambule et un message, le préambule contenant des données de protocole, le message étant codé par un signal modulé, caractérisé en ce que :
- 15 - on met en œuvre un procédé de pré-détection selon l'une quelconque des revendications précédentes, pour pré-détecter les réponses à détecter ;
- on détermine une position prévue du préambule de chaque réponse pré-détectée ;
- 20 - on vérifie si des données de protocole déterminées sont présentes à ladite position prévue du préambule.
10. Procédé de détection selon la revendication 9 dans lequel la position prévue du préambule est déterminée à partir du début ou de la fin du signal
- 25 identifié à l'étape (ii) du procédé de pré-détection.
11. Procédé selon la revendication 9 dans lequel les réponses à détecter étant des réponses mode S, on génère une détection lorsque au moins N impulsions sur quatre sont présentes à la position prévue du préambule, où
- 30 N est un paramètre dont la valeur est comprise entre 1 et 4, la valeur limite 1 étant utilisée pour détecter des réponses très brouillées, la valeur limite 4 étant utilisée pour détecter des réponses claires.

15

12. Procédé de détection de réponses dans un radar secondaire, les réponses à détecter comprenant un message codé par un signal modulé, caractérisé en ce que :

- 5 - on met en œuvre un procédé de pré-détection selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, pour pré-détecter les réponses à détecter ;
- on génère un signal d'horloge à un rythme binaire à partir de message ;
- on détermine précisément la position du début de la réponse à partir du début ou de la fin du message.

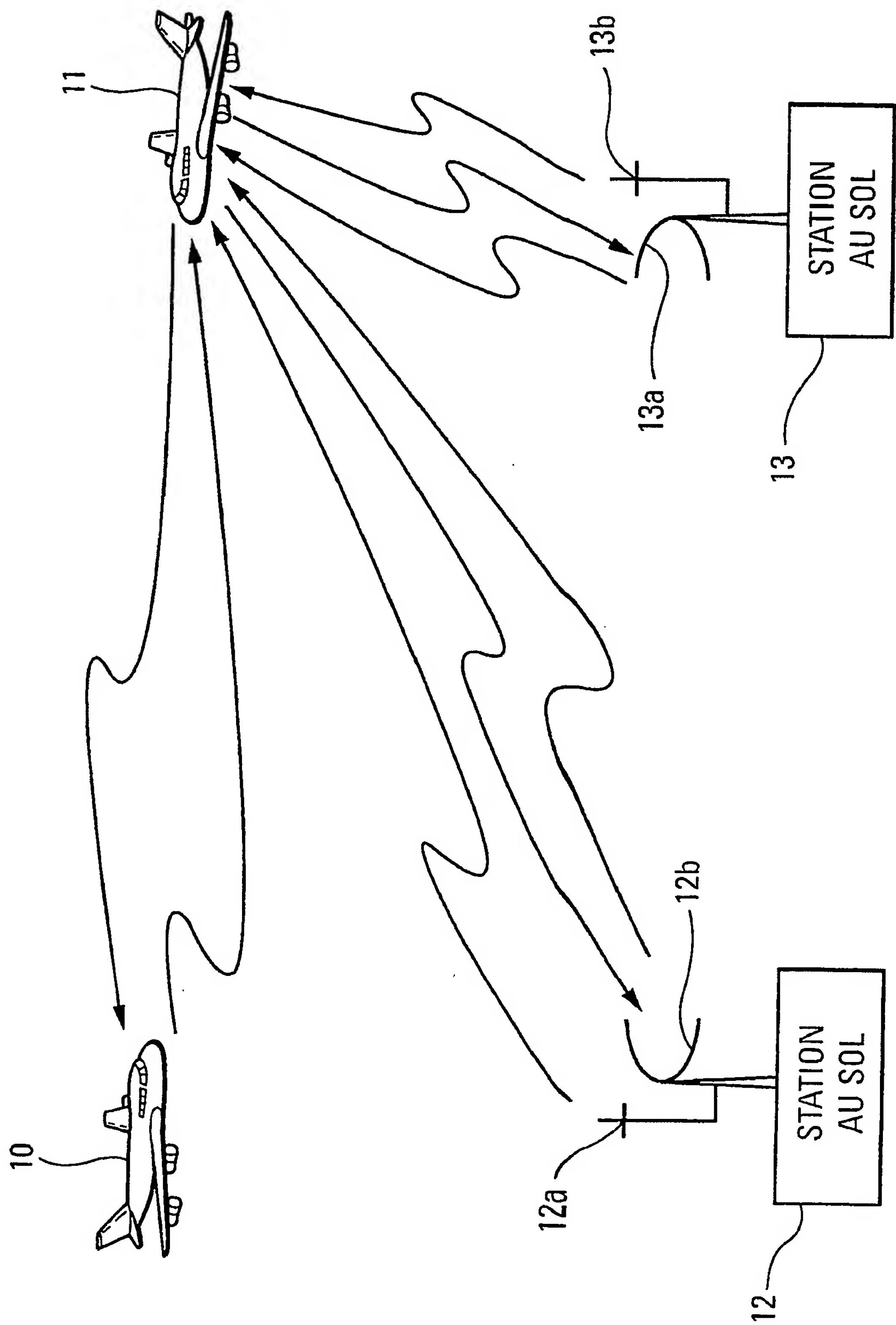


Fig. 1

2/7

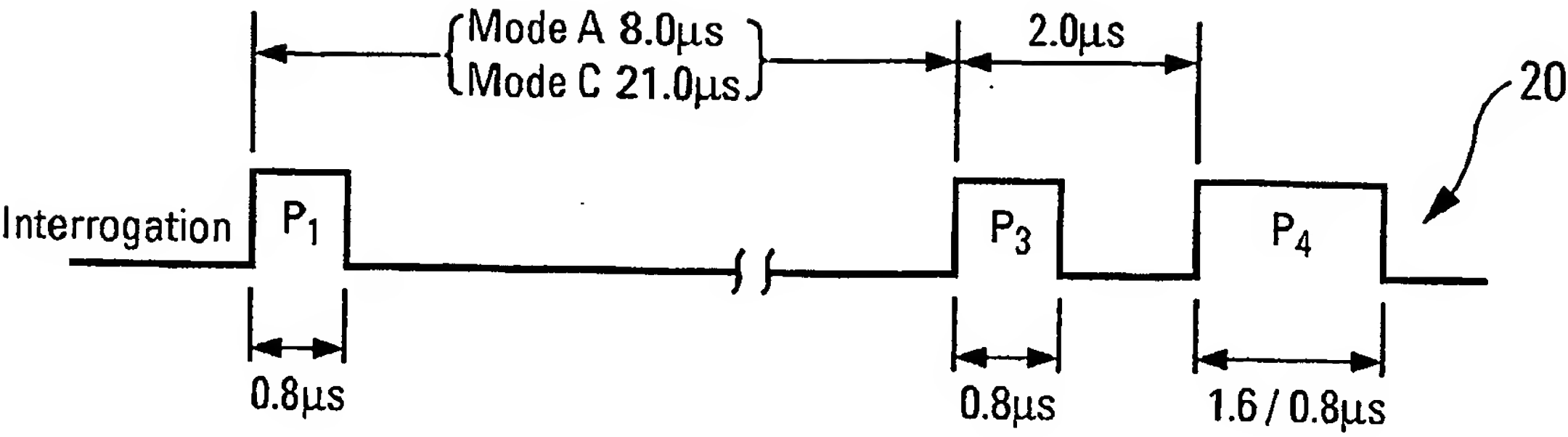


Fig. 2a

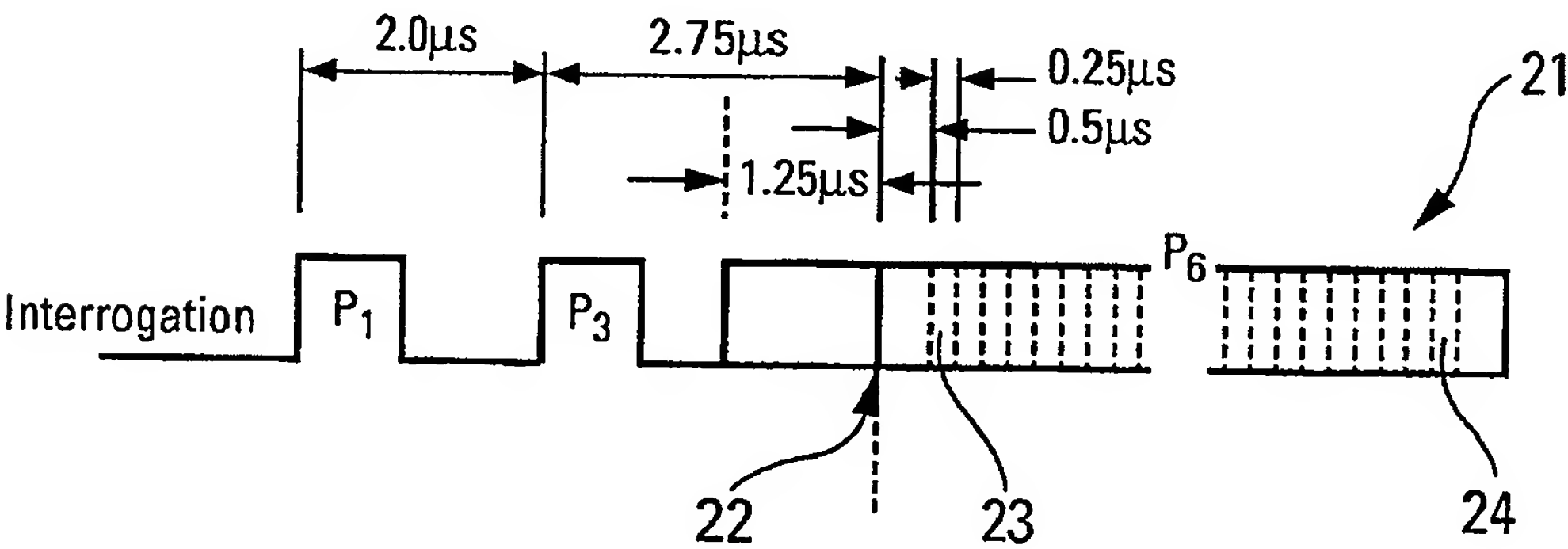


Fig. 2b

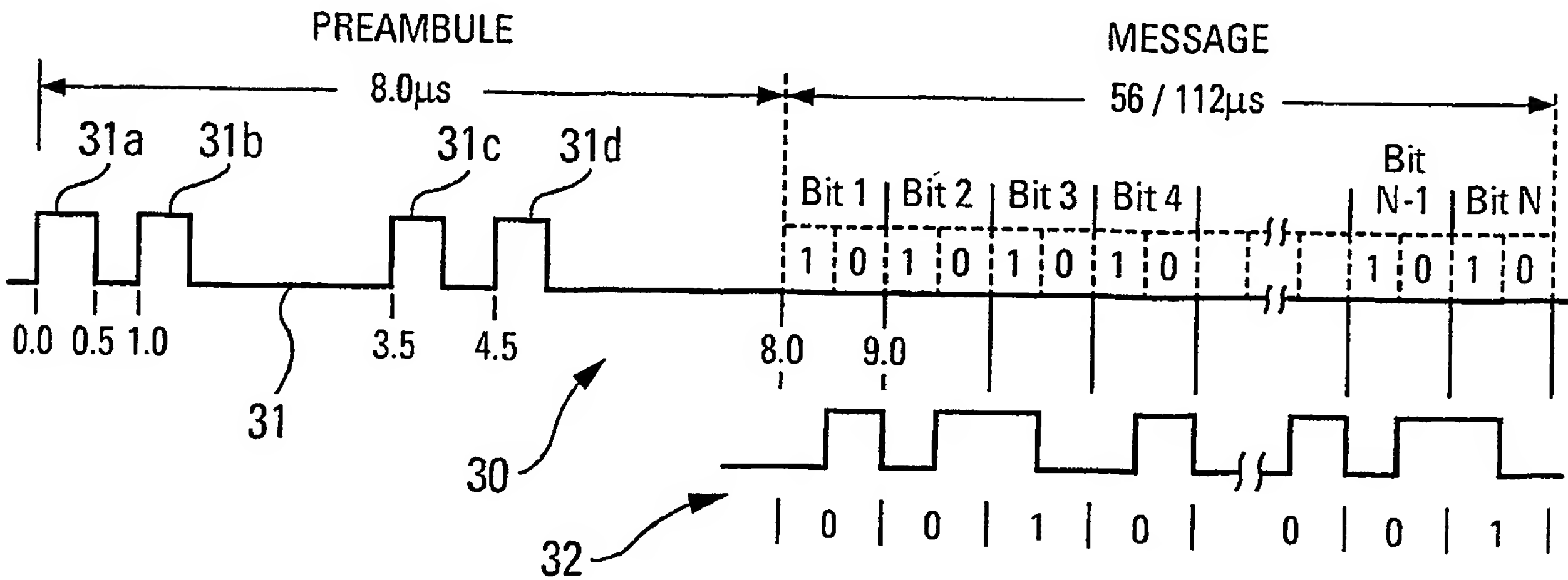


Fig. 3

3/7

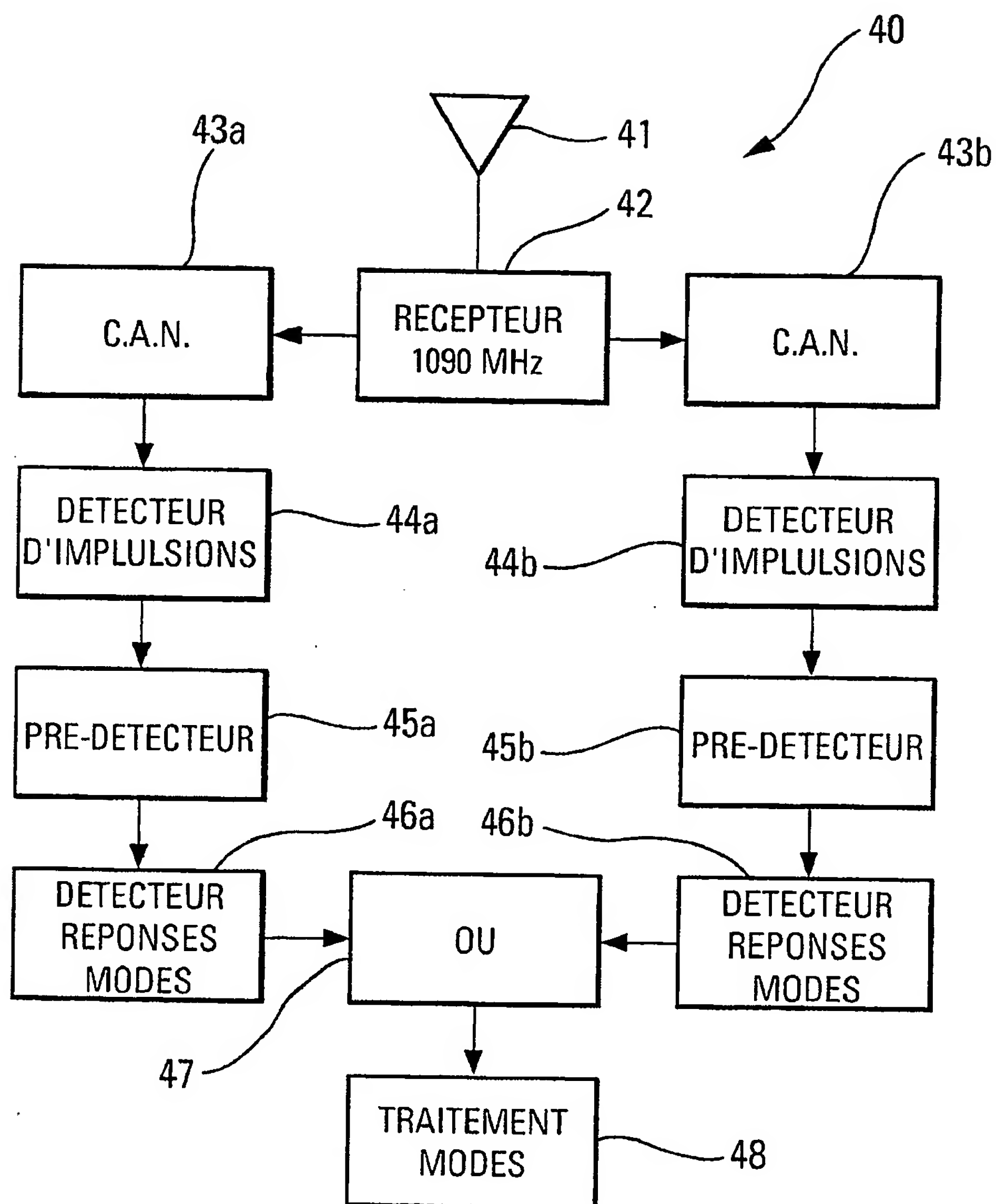


Fig. 4

4/7

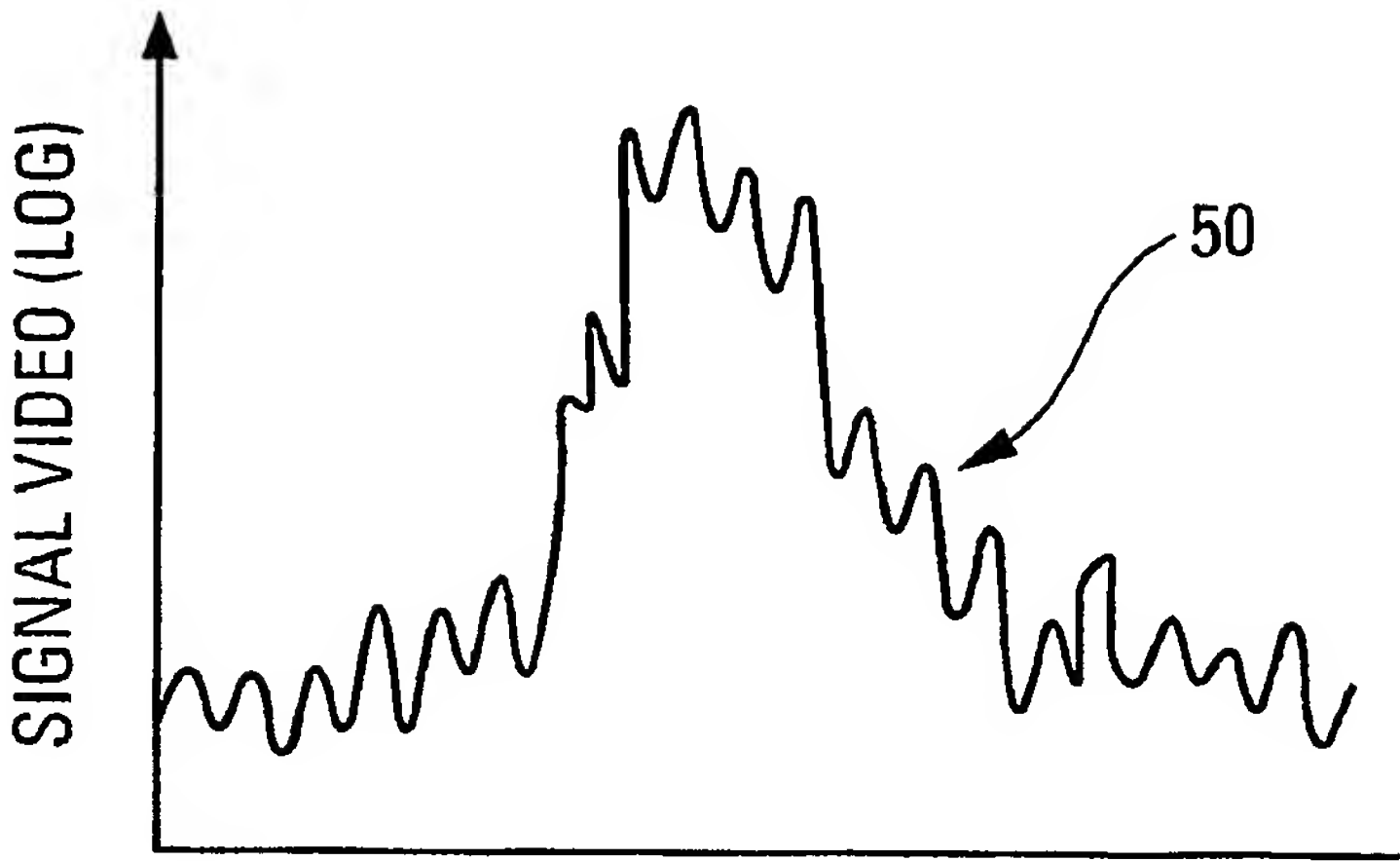


Fig. 5a

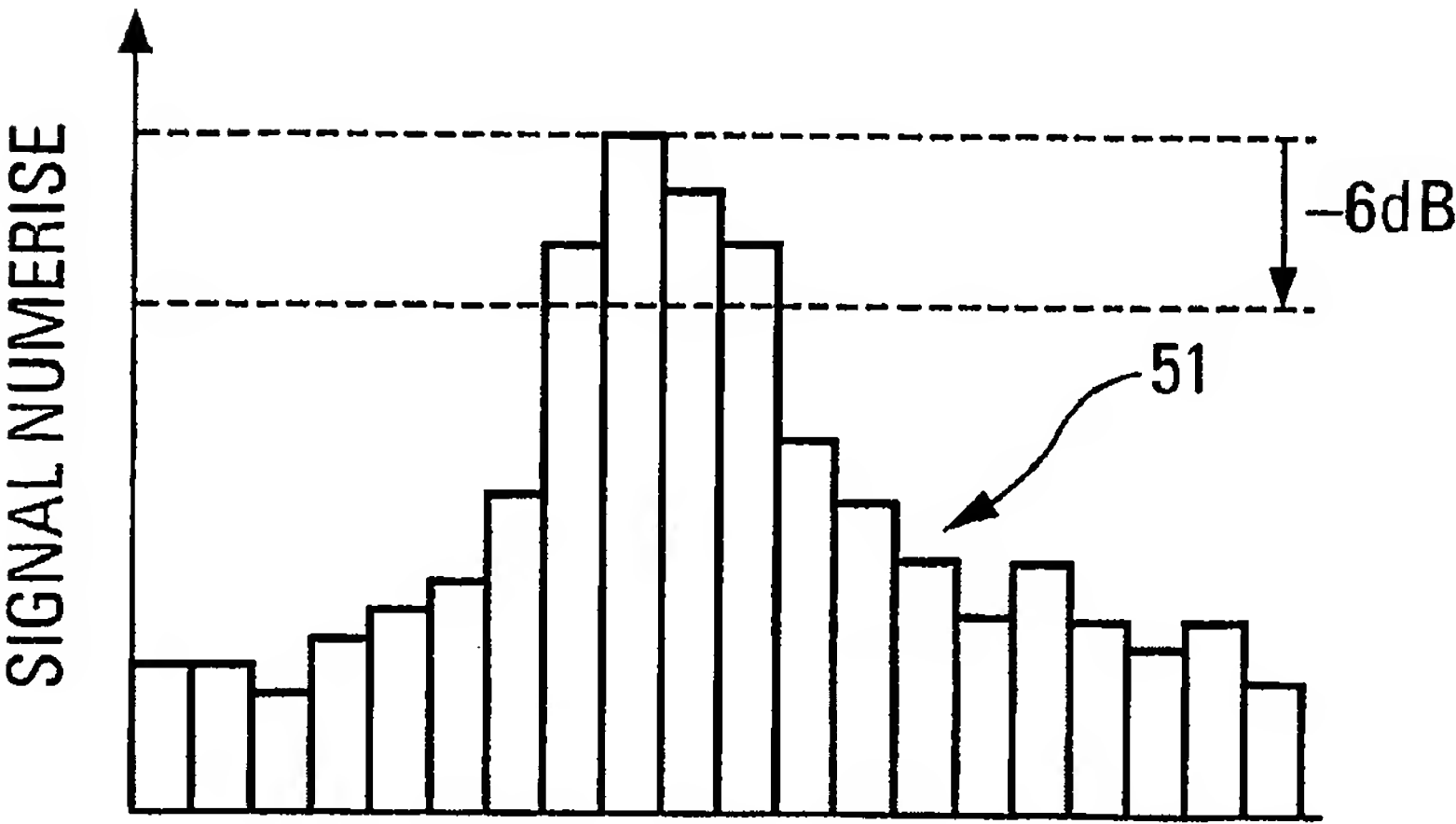


Fig. 5b

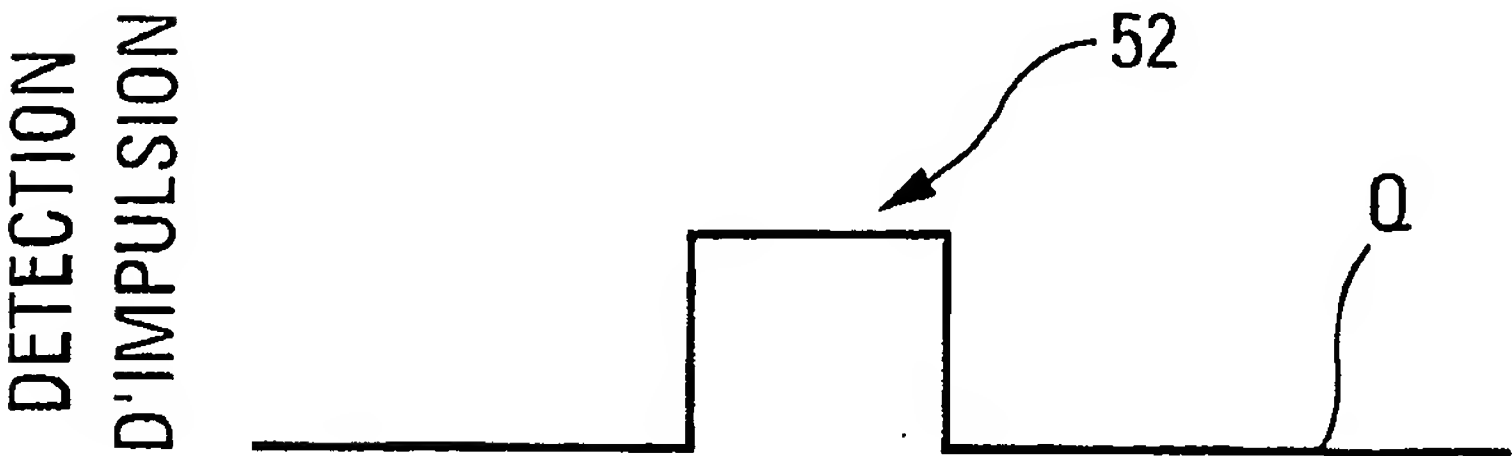


Fig. 5c

5/7

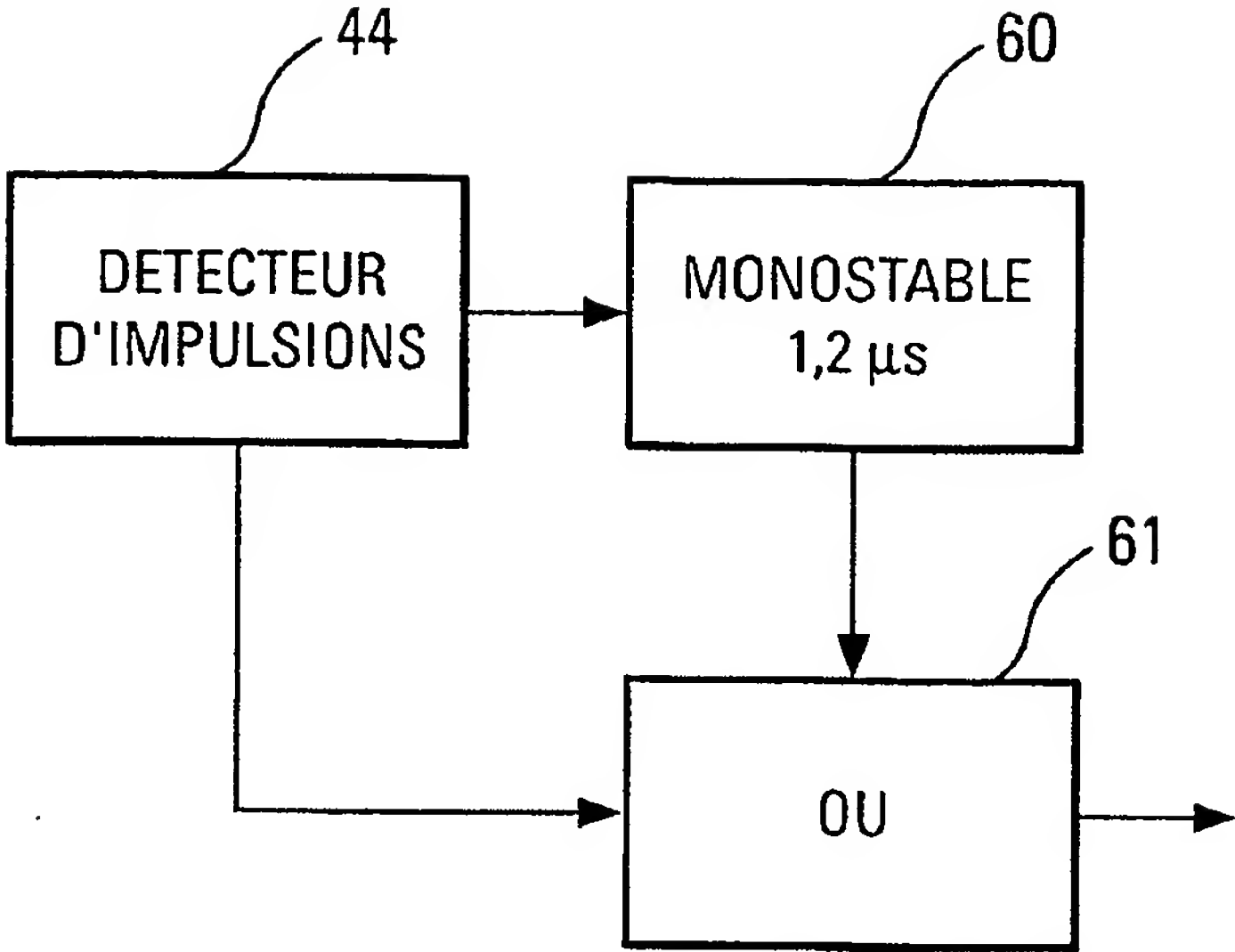


Fig. 6

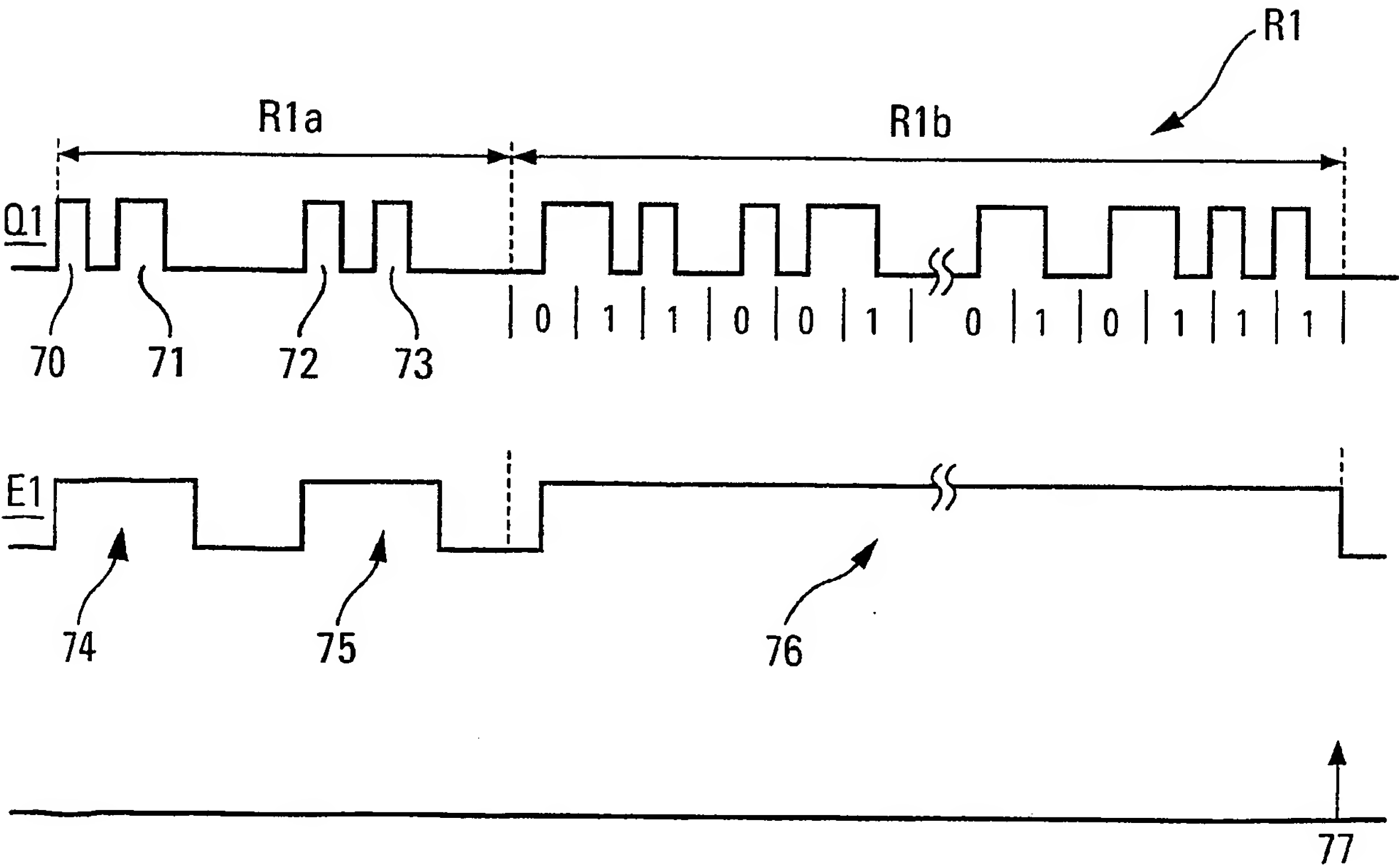


Fig. 7

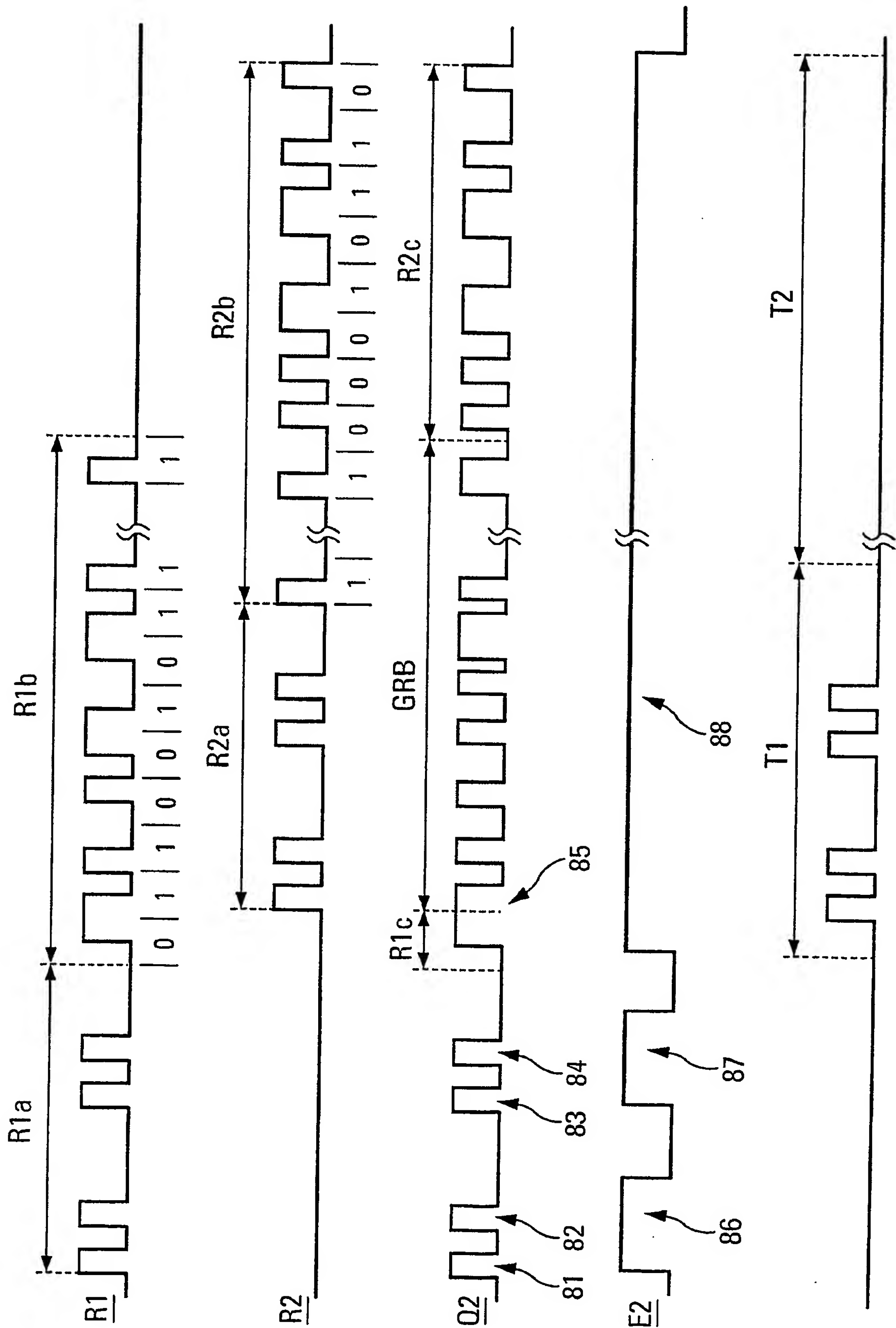


Fig. 8

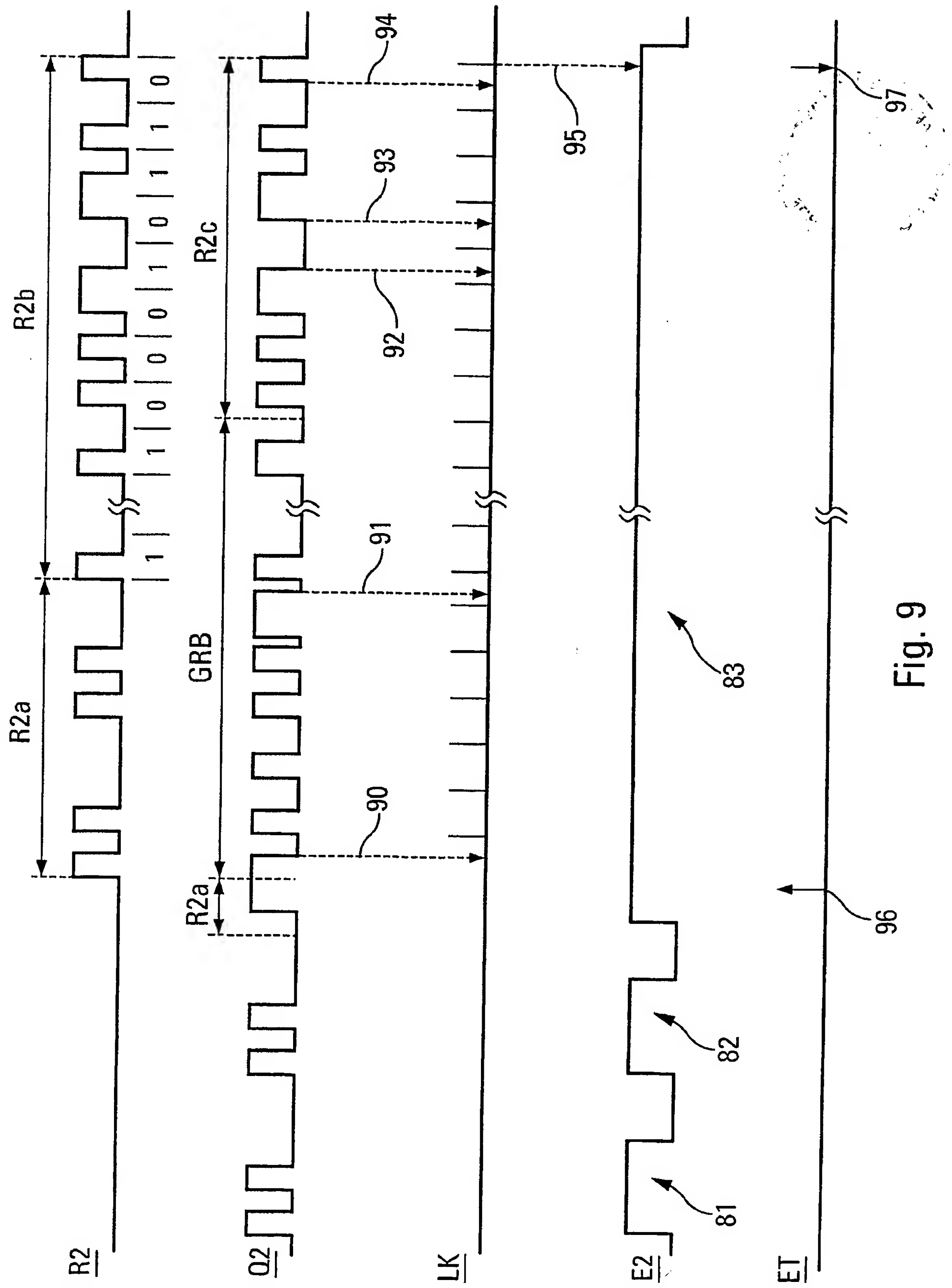


Fig. 9